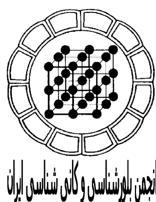
مجله
بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران

مقاله پژوهشی

سال سی‌ام، شمارهٔ اول، بهار ۱۴۰۱، از صفحهٔ ۱۶۵ تا ۱۷۸



سنگ شناسی و زمین شیمی سنگ کل شهاب‌سنگ‌های شهداد

شهریار محمودی*، مریم بوئینی

گروه ژئوشیمی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه خوارزمی، کرج، ایران.

(دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۴/۱۵ ، نسخه نهایی: ۱۴۰۰/۶/۲۷)

چکیده: در این پژوهش، ۹ قطعه از نمونه‌های شهاب سنگی در مجموع به جرم ۳۵۹۰ گرم بررسی شدند که در خبرنامه جهانی ثبت شهاب‌سنگ‌ها درج و رده‌بندی نشده‌اند. برای رده‌بندی این نمونه‌ها، پس از تهیه مقاطع میکروسکوپی و انجام سنگ‌نگاری دقیق، برپایه داده‌های زمین شیمیایی ترکیبات عناصر اصلی و کمیاب سنگ کل برآمده از طیف سنجی‌های فلئورسانس پرتوی ایکس (XRF) و جرمی پلاسمای جفت شده القایی (ICPMS) در نخست نمونه‌های با ویژگی‌های کامل شهاب سنگ‌ها تفکیک گردیده و سپس براساس یافته‌های سنگ‌نگاری و زمین‌شیمیایی رده‌بندی شدند. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که این قطعه‌های شهاب‌سنگی دسته شهاب‌سنگ‌های کندریتی، نوع سنگ‌شناسی H_4 هستند و از نظر ویژگی‌های ثانویه چون دگرگونی و هوازدگی فضایی نیز در گروه شهاب‌سنگ‌های دارای هوازدگی و دگرگونی S_2 و W_2 قرار دارند.

واژه‌های کلیدی: *شهاب‌سنگ؛ کندریت؛ نوع سنگ شناسی H_4؛ هوازدگی فضایی.*

مقدمه

شهاب‌سنگ‌ها در مطالعات مربوط به نحوه پیدایش و تکوین کرات و خورشید و تاریخچه تحول منظومه شمسی اهمیت دارند؛ بنابراین در پژوهش‌های علمی سنگ‌شناسی طبقه‌بندی آن‌ها ضروری است [۱-۶]. شهاب سنگ‌ها از نظر خصوصیات شیمیایی (پراکندگی عناصر اصلی و کمیاب) نیز طبقه‌بندی می‌شوند [۷-۱۳]. خصوصیات شیمیایی یک شهاب سنگ، نحوه تبلور و روند تفریق سیارک مادر و پدیده‌های ثانویه (به عنوان مثال ذوب حاصل از عبور شهاب سنگ از جو زمین) و تغییرات حاصل از دگرگونی و هوازدگی نیز به صورت تحولات شیمیایی در شهاب سنگ حفظ می‌شود [۲، ۱۴-۱۶]، بنابراین محدوده وسیعی از فرایندهای فیزیکی و شیمیایی سحابی خورشیدی و محیط سیارکی موجب بروز و ایجاد بافت‌ها و ساختارهای میکروسکوپی و تغییرات شیمیایی در یک شهاب سنگ می‌شود که رمزگشایی این اطلاعات علاوه بر طبقه‌بندی شهاب سنگ‌ها، از دیگر اهداف مطالعه شهاب سنگ‌ها است. در این پژوهش نمونه‌های یافت شده در محدوده جنوبی دست لوت و شهرستان شهداد که توسط گروه‌های اکتشافی موسه گوهرشناسی کیپای خوارزمی از منطقه عمومی شهداد مورد شناسایی و برداشت قرا گرفته استفاده شده است. و در گروه شهاب سنگ‌های یافت شده قرار می‌گیرد.

روش بررسی

در این پژوهش، نخست نمونه‌ها در حمام فراصوتی به مدت ۲ ساعت قرار گرفتند تا همه آثار زمینی و مربوط به پس از برخورد و یا ناشی از قرار گرفتن در محیط طبیعی زدوده شود. سپس نمونه‌ها برای ۴۸ ساعت در کوره با دمای ۱۱۰ درجه سانتی‌گراد خشک شدند. در مرحله بعد، عکس‌برداری و چگالی‌سنجی آنها انجام شد. سپس از هر نمونه یک مقطع میکروسکوپی نازک صیقلی تهیه گردید بررسی های میکروسکوپی با میکروسکوپ تحقیقاتی قطبشی زایس در آزمایشگاه دانشگاه خوارزمی تهران انجام شد. از همه نمونه‌ها بسته به اندازه آن‌ها، ۱۰ تا ۲۰ گرم پودر بدون استفاده از سنگ‌شکن و به صورت دستی در هاون عقیق تهیه شد. پودر نمونه‌ها برای تجزیه ذوب قلیایی و طیف‌سنجی جرمی پلاسمای جفت شده القایی (ICPMS) به شرکت زرآزما ارسال گردید.

*نویسنده مسئول، تلفن: ۰۹۱۲۶۵۴۷۳۳۶، پست الکترونیکی: shahryar.mahmoudi@gmail.com

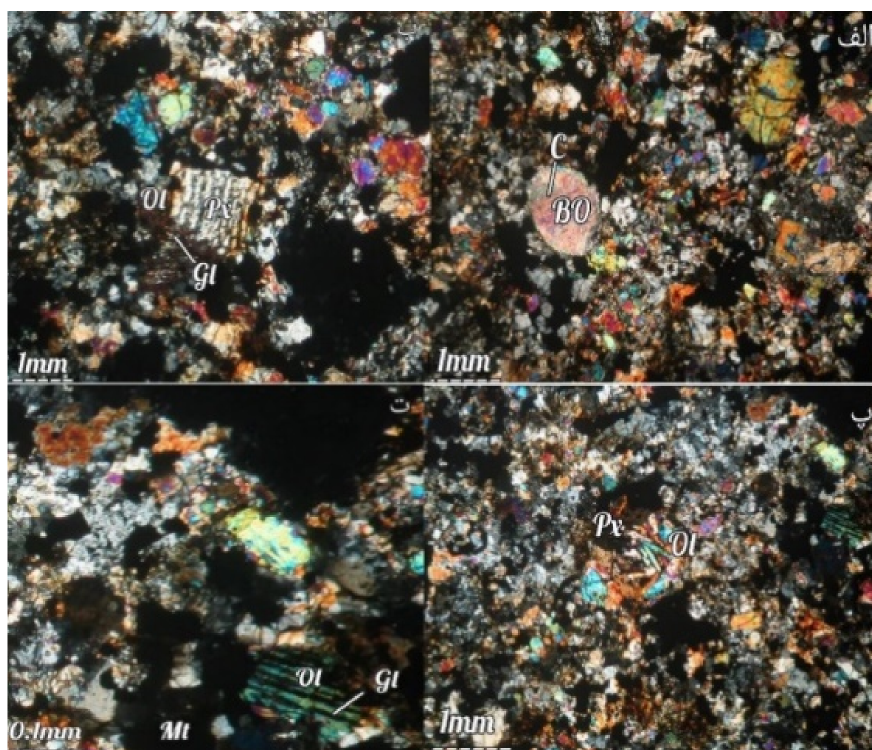
[DOR: 20.1001.1.17263689.1401.30.1.13.7]
[DOI: 10.52547/ijcm.30.1.165]

بحث و بررسی

سنگ نگاری شهاب‌سنگ‌های شهداد

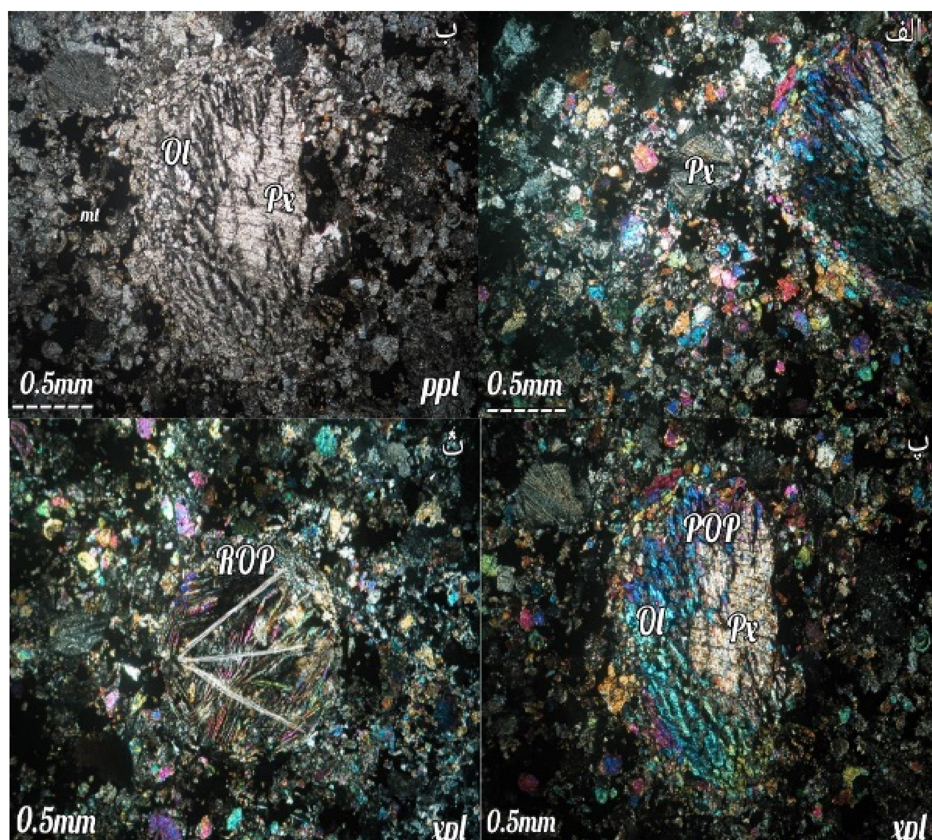
۹ قطعه شهاب‌سنگ به جرم ۳۵۹۰ گرم، که توسط گروه کاوشگران شهاب‌سنگ موسسه گوهرشناسی کیپای خوارزمی از مختصات ″۵۰°۵۷ تا ″۲۵°۴۸ غربی و ۰۱°۳۰ تا ″۲۵°۳۰ شمالی واقع در جنوب و شرق شهرستان شهداد و شرق کرمان کشف شده هنوز در خبرنامه جهانی ثبت شهاب‌سنگ‌ها درج و رده‌بندی نشده‌اند.

در بررسی با میکروسکوپ قطبشی در نور عبوری با شبکه‌های موازی و متقاطع، نمونه‌های مورد بررسی در مقطع میکروسکوپی KM97001 دارای کانی‌های الیوین (۳۰٪) و پیروکسن از نوع اوژیت و دیوپسید (۲۵٪) به عنوان کانی اصلی هستند. این بلورها بی‌شکل تا نیمه‌شکل‌دار هستند و هر یک در نور قطبیده و عادی ویژگی‌های نوری خود را بروز می‌دهند. بقیه فضای سنگ را زمینه ریزبلور اشغال کرده است. الیوین به دلیل شرایط ترمودینامیکی زمان تشکیل (دما و فشار) بافت‌های ویژه شهاب‌سنگی از جمله بافت علفی و شکل‌های تیغه‌ای و سوزنی دارد و دارای کانی‌های کدر (به احتمال بسیار کرومیت) است (شکل ۱). گاهی بلورهای پیروکسن و کلینو پیروکسن نیز دارای میانبارهای کرومیت و تیغه‌های الیوین به صورت هم‌رشدی هستند؛ گوشه‌های بلور پیروکسن حفظ شده و در برخی نقاط دارای رخ دووجهی و خاموشی موجی است (شکل ۱). در برخی موارد، کانی الیوین در قالب‌های شکل‌دار پیروکسن متبلور شده که شکل‌های دروغین را تشکیل داده و گاهی بافت فرعی اسکلتی در برخی بخش‌های شهاب‌سنگ ایجاد می‌کند. در برخی نقاط دیگر، کندرولی با الیوین علفی دیده می‌شود که دارای بافت اسفرولیتی با مرز مشخص کندرولی بوده و با ذرات کرومیت پوشیده شده است (شکل ۱). در برخی نمونه‌ها، کندرول‌ها ۶۰٪ حجم نمونه را پر می‌کنند و در آن‌ها، بلورهای الیوین تمیز تا غبارآلود و همچنین پیروکسن‌های اوژیتی و گاهی ترکیبی از این دو کانی هستند. میانگین قطر کندرول‌ها ۰٫۲ میلی‌متر بوده و تراکم اجسام کندرولی در هر ۲سانتی‌متر مربع حدود یک کندرول است و با مرزی مشخص در خمیره زمینه فلزی با حجم ۷٪ قرار دارند (شکل ۱).



شکل ۱ نمونه KM97001: الف) بلورهای پیروکسن و الیوین دربرگرفته شده (BP و BO) به صورت هم‌رشدی با پرشدگی فضای خالی توسط مواد مخفی‌بلور، ب) الیوین علفی در کنار پیروکسن، که فضای خالی با شیشه پر شده است. پ) الیوین با بافت شعاعی (RO) در زمینه خمیره فلزی، ت) الیوین علفی که شیشه در فضای خالی آن است [۷].

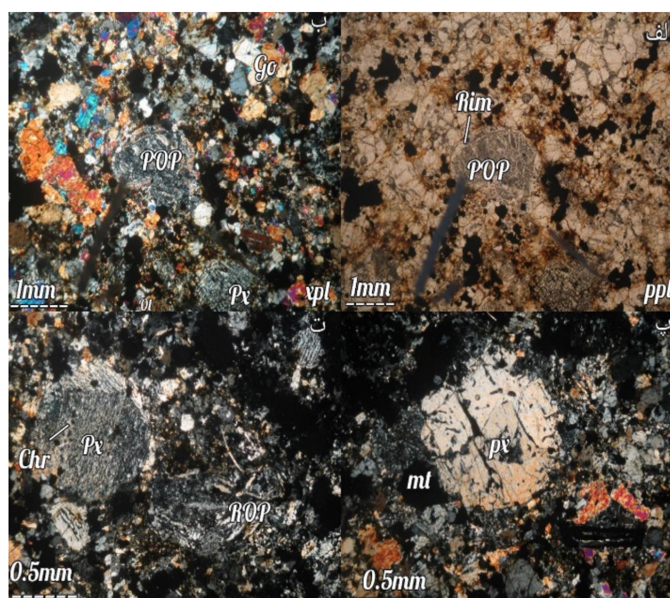
فازهای کانیایی تشخیص داده شده در نمونه KM97002 عبارتند از الیوین و پیروکسن هستند. در این نمونه، کانی‌های الیوین ۳۰٪ و پیروکسن ۳۵٪ حجم شهاب‌سنگ را شامل می‌شوند و از کانی‌های اصلی و اغلب خودشکل تا نیمه‌شکل‌دار هستند و بقیه حجم سنگ را زمینه ریزبلور اشغال کرده است. نمونه KM97002 شامل اجسام کندرولی، بخش بلوری و خمیره است. بخش خمیره شامل انباشته‌های خرده‌های شهاب‌سنگی ریزبلور بوده که فضای بین کندرول و قطعه‌های بلوری را پر کرده است. در هر سانتی‌متر مربع از نمونه میکروسکوپی، یک کندرول وجود دارد که از دیدگاه سنگ‌نگاری دو نوع است؛ در برخی کندرول‌ها، کانی الیوین در مرکز کندرول قرار دارد و توسط کانی پیروکسن اوژیتی تا دیوپسیدی دربرگرفته شده است در برخی دیگر، کلینوپیروکسن در مرکز بوده و کانی الیوین آن را در بر گرفته است (POP) گاهی نیز ترکیبی از بافت شعاعی الیوین و پیروکسن دیده می‌شود (ROP)، در حالی که بافت اصلی پیروکسن در برگرفته شده (BP) علفی بوده (ذرات پر کننده فضای خالی کانی در این بافت کانی کدر هستند)، که در کنار بافت کندرول در کندرول یا کندرول مرکب جای گرفته است (شکل ۲). کندرول‌های اصلی دارای قطر ۰/۵ میلی‌متر هستند. در کل، مقطع سه کندرول دارای مرز مشخصی است و در کل ۶۰٪ سطح نمونه را پر می‌کنند. خمیره مخفی‌بلور ۳٪ از حجم شهاب‌سنگ را شامل می‌شود. در بیشتر کانی‌های کدر این نمونه یک بخش فلزی خالص تیتان-نیکل با حجم تقریبی ۱۰٪ از کانی کدر وجود دارد. این گروه از کانی‌های کدر به صورت پراکنده در نمونه میکروسکوپی دیده می‌شوند. بخش اصلی زمینه ریزبلور پیرامون کندرول‌ها به صورت حلقه‌ای تشکیل شده است (شکل ۲). شواهد دگرگونی برخوردی وجود دارد که دگرگونی این نمونه با توجه به شکستگی‌های صفحه‌ای کلینوپیروکسن و شکستگی‌های نامنظم الیوین مربوط به دگرگونی S_2 است (شکل ۲) [۱۵، ۱۶].



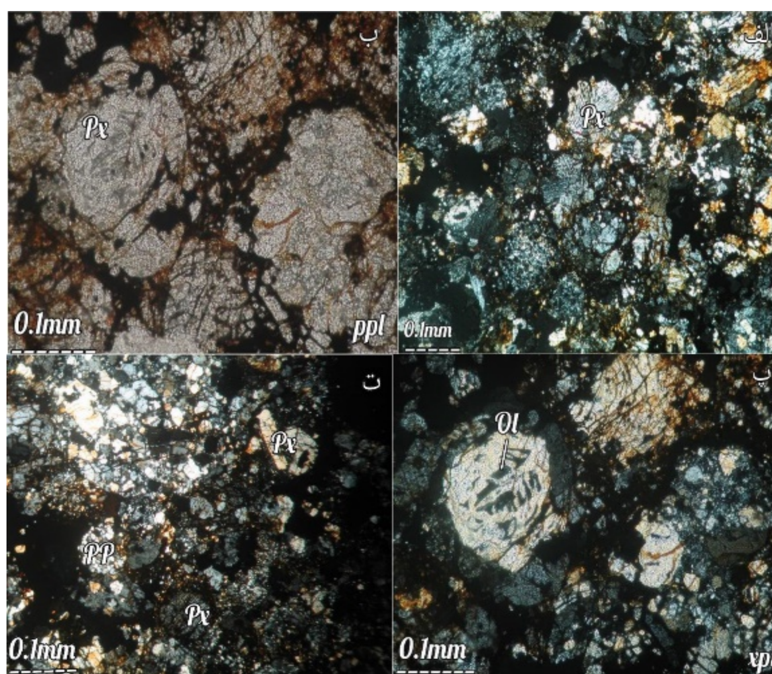
شکل ۲ نمونه KM97002: الف) پیروکسن علفی دربرگرفته شده (BP) با کانی کدر به صورت تیغه‌ای و شکستگی‌های صفحه‌ای در کانی پیروکسن، ب و پ) هم‌رشدی الیوین و پیروکسنی که و نشانگر بافت پورفیری الیوین و پیروکسن است (در دو نور عادی و قطبیده). ت) کندرول با مرز کاملاً مشخص و بسته که بافت شعاعی پیروکسن و الیوین (ROP) دارد و انباشت ذرات مخفی‌بلور که تشکیل لبه داده‌اند.

در نمونه KM97003، الیوین با حجم ۲۵٪ و کلینوپیروکسن اوژیت و دیوپسید با حجم ۳۰٪ کانی‌های اصلی هستند و گاهی بلورها به صورت انبوهه‌ای به هم پیوسته شده‌اند. این همراهی به صورت دربر گرفتن پیروکسن توسط الیوین است و بقیه حجم سنگ را زمینه ریزبلور پر کرده (شکل ۳) که نشانگر بالا رفتن دمای محیط بدنه سیارک مادر است [۱۷]. این کانی‌ها از بی‌شکل تا نیمه‌شکل‌دار بوده آن‌ها که کندرول‌های شهاب‌سنگ را نیز شامل می‌شوند، دارای قطر ۰٫۳ میلی‌متر و حجم ۶۸٪ هستند. به راحتی کندرول الیوین و پیروکسن پورفیری (POP) با تعدادی دانه که به مرور محو می‌شوند، دیده می‌شود (شکل ۳). برخی از آن‌ها یک بافت معمول پورفیری با نام POP (کندرول پورفیری تشکیل شده از الیوین و پیروکسن) را نشان می‌دهند. الیوین‌های پیرامون پیروکسن دارای بافت علفی همراه با خمیره مخفی‌بلور هستند و گاهی به صورت پورفیری بخشی از کندرول‌های شهاب‌سنگ را تشکیل می‌دهند (شکل۳). برخی از این الیوین‌های تیغه‌ای در کنار دانه‌های کروی کدر از فلز خالص هستند که آلیاژ آهن، نیکل و تیتان به شکل بافت دانه‌تسبیحی دیده می‌شود و برخی دیگر با بافت غالب اسفرولیتی همراه هستند (شکل ۳). در هر سانتی‌متر مربع از این مقطع میکروسکوپی ۲ کندرول وجود دارد که از الیوین علفی، یا پیروکسن بلوری و یا ترکیبی از این دو کانی مرز تدریجی و گاهی مشخص بوده و با ۱۴٪ خمیره فلزی همراه شده است.

در نمونه KM97007 الیوین با حجم ۲۰٪ و پیروکسن اوژیت با حجم ۴۰٪ کانی‌های اصلی را تشکیل می‌دهند و در برخی نقاط الیوین به صورت جانشینی قالب کانی پیروکسن را اشغال کرده و بافت دروغین ایجاد می‌کند (شکل ۴). ماکل ساعت‌شنی در مقطع میکروسکوپی این شهاب‌سنگ در کانی پیروکسن اوژیت تا دیوپسید دیده می‌شود. این امر گویای دمای بالای محیط در زمان خود است (شکل ۴) [۱۷]. برخی دیگر از کانی‌های پیروکسن اوژیتی نیز با بافت غربالی در کندرول جای دارند. بیشتر کندرول‌های این مقطع (۳ کندرول در هر سانتی‌متر مربع) به صورت کندرول درون کندرول هستند که با مرزی مشخص از هم جدا شده‌اند (شکل ۴). این کانی‌ها از بی‌شکل تا نیمه‌شکل‌دار هستند و قطر کندرول‌های شهاب‌سنگ با حجم ۶۰٪ برابر با ۱ میلی‌متر و قطر کندرول‌های درونی ۰٫۱ است. در برخی کندرول‌ها، الیوین و پیروکسن بافت اسکلتی را شکل داده‌اند (شکل ۴). مرز کندرول‌ها مشخص است و در خمیره فلزی آهن، تیتان و نیکل با حجم ۱۸٪ جای دارند. بافت علفی موجود در این نمونه در کانی پیروکسن دیده می‌شود. با توجه به شکستگی‌های نامنظم در سطح الیوین و شکستگی‌های صفحه‌ای کانی پیروکسن، دگرگونی S_2 (دگرگونی بسیار ضعیف) در نمونه دیده می‌شود [۱۵، ۱۶].



شکل ۳ نمونهKM97003 : الف و ب) کندریت که مرزهای به نسبت مشخصی از کندرول‌ها با ترکیب پیروکسن و الیوین پورفیری (POP) را نشان می‌دهد (در نور عادی و قطبیده). پ) کانی پیروکسن در زمینه خمیره فلزی، ت) بافت دانه‌تسبیحی در کندرول و کانی پیروکسن با مرز نیمه مشخص در کنار کندرول با الیوین و پیروکسن که بافت اسفرولیتی دارند (ROP). در پائین این کندرول بافت علفی پیروکسن و الیوین دیده می‌شود.



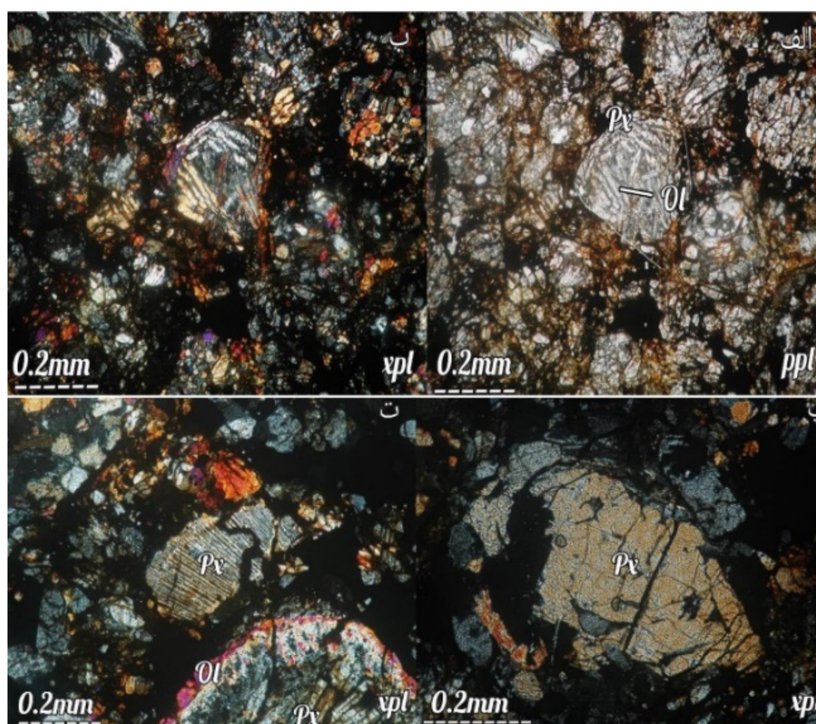
شکل ۴ نمونه KM97007 : الف) پیروکسن با منطقه‌بندی ساعت‌شنی در زمینه خمیره فلزی (MT)، ب) بافت دروغین کانی الیوین در زمینه کانی پیروکسن (در نور عادی)، پ) کانی الیوین جانشین شده با بافت اسکلتی (در نور قطبیده)، ت) کندرول با کانی پیروکسن پورفیری (PP).

در نمونه KM97008، الیوین با حجم ۲۰٪ و پیروکسن اوژیت و دیوپسیدی با حجم ۳۰٪ کانی‌های اصلی را تشکیل می‌دهند که خودشکل تا بی‌شکل هستند. در برخی نقاط نمونه میکروسکوپی، الیوین در بر گرفته شده به صورت جانشینی کانی پیروکسن را اشغال کرده و بافت دروغین را شکل می‌دهد، در حالی که خود دارای بافت علفی است (شکل ۵). برخی از الیوین‌های با بافت علفی گاهی با بافت اسفرولیتی همراه می‌شوند (شکل ۵). قطر این کانی‌ها که از کندرول‌های شهاب‌سنگ هستند، ۰٫۳ میلی‌متر است. بیشتر کندرول‌های این مقطع به صورت کندرول درون کندرول در زمینه خمیره فلزی با ۱۲٪ فراوانی هستند (۴ کندرول در هر سانتی‌متر مربع) و ۶۵٪ سطح نمونه را پر کرده‌اند. در این نمونه میکروسکوپی، کندرول با مرز نیمه‌مشخص دیده می‌شود.

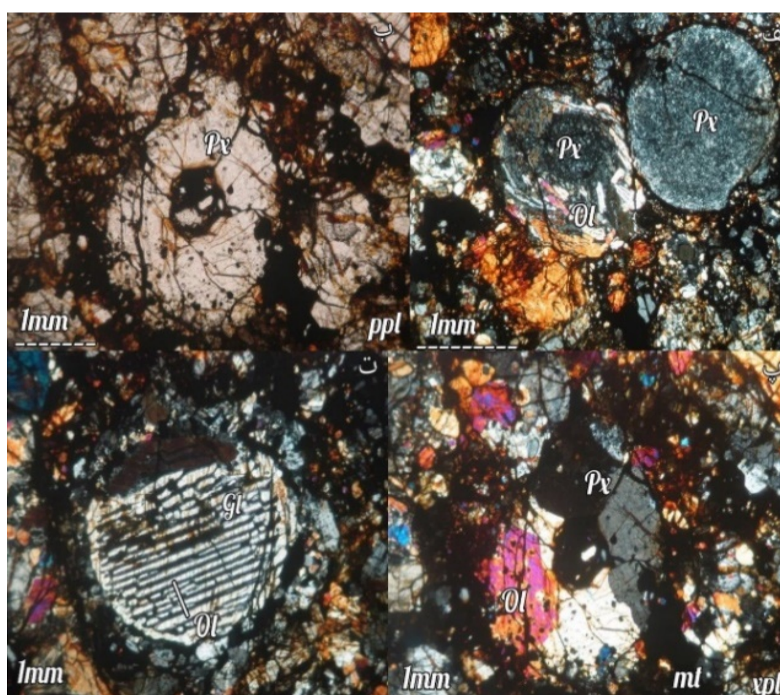
در مقطع میکروسکوپی KM97009، الیوین ۴۵٪ و پیروکسن اوژیتی (۳۰٪) از کانی‌های اصلی و پلاژیوکلاز کلسیمی (۱٪) کانی فرعی است. کانی‌های اصلی در این نمونه نیمه‌شکل‌دار تا خودشکل هستند و بقیه فضای نمونه با کانی‌های کدر پر شده است. کندرول‌های نمونه را می‌توان از دو نوع کلی معمولی و مرکب در نظر گرفت که کندرول‌های معمولی با اندازه ۰٫۳ میلی‌متر و فراوانی ۷۰٪ (۵ کندرول در هر سانتی‌مترمربع) و کندرول‌های درونی با اندازه ۰٫۱ میلی‌متر در زمینه خمیره فلزی با حجم ۱۳٪ شامل کانی‌های پیروکسن و الیوین هستند (شکل ۶). الیوین در کندرول با بافت علفی و به حالت تیغه‌ای- سوزنی است و یا همراه با پیروکسن به صورت نیمه یا به طور کامل جانشین کانی پیروکسن می‌شود و یا چسبیده به کانی پیروکسن می‌چسبد و با همراهی بافت علفی، بافت دروغین را می‌سازد (شکل ۶).

در نمونه میکروسکوپی KM970010، الیوین و پیروکسن به ترتیب با حجم ۴۵-۴۰٪ و ۳۰٪، از کانی‌های اصلی و بی‌شکل تا خودشکل بوده و کانی‌های کدر این شهاب‌سنگ ۲۰٪ هستند. حجم کندرول‌های معمولی و مرکب در این نمونه ۸۰٪ است و کندرول این مقطع با مرزی کاملاً مشخص (۵ کندرول در هر سانتی‌متر مربع) که با هاله‌ای از مخفی‌بلور دربرگرفته شده است (لبه) با اندازه ۰٫۱ میلی‌متر، در زمینه خمیره فلزی کامل با فراوانی ۱۱٪ قرار دارد (شکل ۷). کندرول مرکب با قطر ۰٫۰۲ mmدر این نمونه شامل الیوین در کندرولی با کانی پیروکسن دربرگرفته شده (BP) است. برخی از الیوین‌های دانه‌ای در کندرول‌ها بافت علفی دارند و هر یک از تیغه‌ها جهت‌گیری ویژه خود را دارند (شکل ۷).

[DOR: 20.1001.1.17263689.1401.30.1.13.7]
[DOI: 10.52547/ijcm.30.1.165]

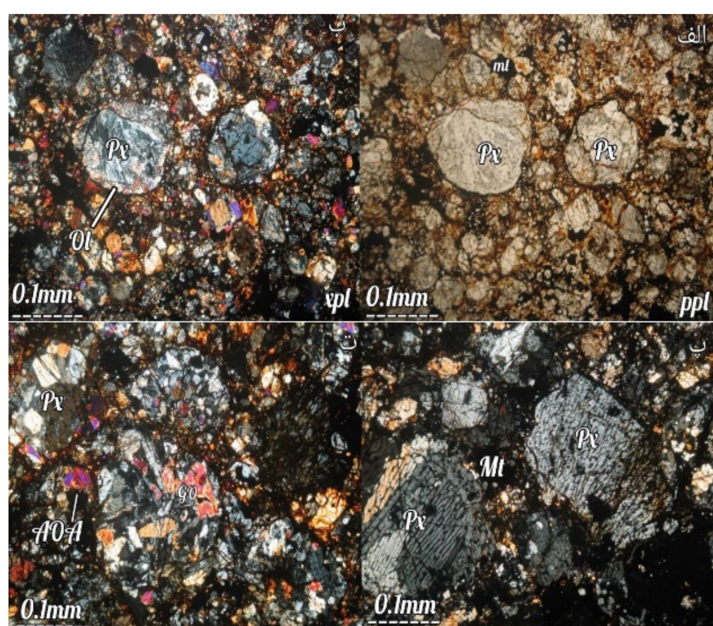


شکل ۵ نمونه KM97008 : الف) کندرول الیوین دربرگرفته (BO) با بافت اسفرولیتی در قالب پیروکسن (بافت دروغین) (در نور عادی) ب) بافت دروغین پیروکسن که با کانی الیوین پر شده و بین بلورهای الیوین را شیشه پر کرده است، پ) کندرول که با کانی پیروکسن پر شده است، ت) کانی پیروکسن درون کندرول و با بافت علفی در کنار کندرول با کانی پیروکسن که با الیوین دربرگرفته شده است.



شکل ۶ نمونه KM97009 : الف) دو کندرول کنار هم که یکی از آنها، کندرول در کندرول است و کانی پیروکسن و الیوین که با توجه به ترتیب تبلورشان دیده می‌شوند و هر دو دربرگرفته شده هستند (BP و BO)؛ ب) کانی پیروکسن دربرگرفته شده (BP) همراه با کانی الیوین (در نور عادی)، پ) کندرول این نمونه شهاب سنگ در زمینه خمیره فلزی (Mt) (در نور قطبیده) و ت) کندرول کانی الیوین دربرگرفته شده (BO) با بافت علفی.

[DOR: 20.1001.1.17263689.1401.30.1.13.7]
[DOI: 10.52547/ijcm.30.1.165]



شکل ۷ نمونه KM970010 : الف) کندرول با کانی پیروکسن دربرگرفته شده (BP) در زمینه خمیره شهاب‌سنگ (در نور عادی)، ب) پیرامون کندرول با کانی پیروکسن، لبه دیده می‌شود(در نور قطبیده)، پ) دو کندرول از پیروکسن‌های علفی در خمیره فلزی، ت) کندرول دارای کانی الیوین دانه‌ای (GO) در کنار الیوین آمیبی شکل (AOA) و در گوشه‌ای دیگر، کندرول کانی الیوین که درون آن کانی پیروکسن جای گرفته و دارای شکستگی‌های صفحه‌ای است.

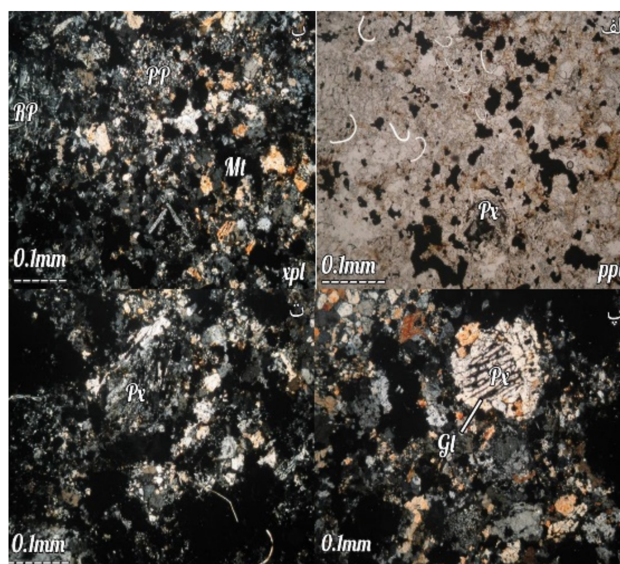
مقطع میکروسکوپی KM970016 دارای کانی‌های اصلی الیوین (۲۰٪) و پیروکسن (۲۵٪-۲۰٪)، به صورت و بی‌شکل تا نیمه‌شکل‌دار بوده و پلاژیوکلاز با فراوانی ۱٪ کانی فرعی این نمونه است. بقیه فضای شهاب‌سنگ از کانی‌های کدر تشکیل شده است (شکل ۸). در کندرول ها با فراوانی ۱ در هر سانتی‌متر مربع، الیوین و پیروکسن با بافت علفی و الیوین دربرگرفته شده (BO) ممکن است تنها با مقادیر بسیار کم دانه‌های فلزی Ni و Fe ترکیب شده و در سراسر کندرول توزیع شده باشند و حتی در برخی کندرول‌ها کانی پیروکسن با بافت پورفیری ظاهر شده است (PP). این کندرول ها با اندازه ۰/۲ میلی‌متر و حجم ۶۰٪ در زمینه فلزی با حجم ۱۵٪ قرار دارند (شکل ۸). در این نمونه میکروسکوپی، شکستگی‌های صفحه‌ای دیده می‌شود که بیانگر دگرگونی S_2 شهاب‌سنگ است (شکل ۸) [۱۸].

کانی‌های اصلی نمونه KM970019 الیوین با حجم ۳۵-۳۰٪ و پیروکسن حجم ۲۰٪ به صورت بی‌شکل تا نیمه‌شکل‌دار هستند. در این نمونه، الیوین دربرگرفته شده (BO) و پیروکسن با بافت علفی، اسفرولیتی و بافت دروغین دیده می‌شوند که درون کندرول (۱ کندرول در هر سانتی‌متر مربع) را پر کرده و با قطر ۰/۱ میلی‌متر و حجم ۶۰٪ در زمینه خمیره فلزی با حجم ۱۵٪ قرار دارند. کندرول‌ها گاهی از الیوین تمیز تا غبارآلود و همچنین پیروکسن‌ها و گاهی ترکیبی از این دو کانی تشکیل شده‌اند. گاهی الیوین‌ها دارای مرز بسته و دربرگرفته شده بوده و گاهی دارای بافت پورفیری هستند. در برخی نقاط دیگر، کندرولی با الیوین علفی دیده می‌شود که دارای بافت اسفرولیتی است (شکل ۹). همه قطعه‌های شهاب‌سنگ‌ها دارای ترکیب‌های پیروکسن و الیوین وابسته گروه کندریت H هستند. ترکیب‌های سیلیکات‌ها و مرزهای کندرول‌ها به خوبی مشخص کننده سنگ‌شناسی نوع ۴ شهاب‌سنگ‌هاست. به دلیل وجود بخش فلزی خالص و نبود اکسایش بالای فلز یا سولفید و وجود طیفی از رنگ لیمویی که بیان‌گر درجه هوازدگی W_2 است، بر اساس رده‌بندی ولتزکا مربوط به کندریت‌های معمولی است [۱۴].

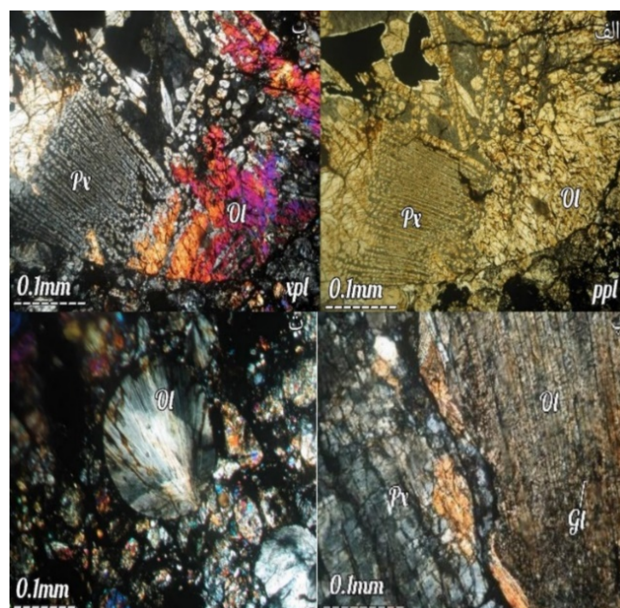
رده‌بندی شهاب‌سنگ‌های شهداد به روش تجزیه شیمیایی

با پیشرفت روش‌های تجزیه شیمیایی، سنگ‌ها را می‌توان براساس ترکیب شیمیایی آن‌ها رده‌بندی کرد. برای نام‌گذاری شیمیایی شهاب‌سنگ‌ها، نمودارهای کمی وجود دارند، زیرا فرازمینی بودن این نوع از سنگ‌ها، موجب محدودیت پژوهش پیرامون آنها می‌شود.

[DOR: 20.1001.1.17263689.1401.30.1.13.7]
[DOI: 10.52547/ijcm.30.1.165]



شکل ۸ مقطع میکروسکوپی KM970016 : الف) کانی پیروکسن در کندرول، ب) انواع پیروکسن‌های شعاعی (RP) و پورفیری (PP) در همسایگی الیوین علفی، پ) کندرول پیروکسن علفی که فضای بین آن از شیشه پر شده است و ت) کانی پیروکسن پورفیری (PP) در کندرول که دارای شکستگی‌های صفحه‌ای است.



شکل ۹ نمونه KM970019 : الف) و ب) یک کندرول با نیمی از کانی الیوین و نیمی از کانی پیروکسن علفی که از مواد مخفی‌بلور پر شده و با نوار باریکی از انستاتیت خمیره (در نور های عادی و قطبیده). این کندریت دارای فلز است. پ) کندرول‌هایی با همسایگی کانی الیوین و کانی پیروکسن که با مرز مشخصی از هم جدا شده‌اند. ت) کندرول کانی الیوین دربرگرفته شده (BO) با بافت اسفرولیتی.

شیمی سنگ کل شهاب‌سنگ‌ها به روش ICPMS

در آماده‌سازی نمونه‌ها برای JCPMS، نخست ۰/۱ گرم از پودر نمونه با دانه‌بندی حدود ۲۰۰ میکرومش در ظرف‌های هاضم از جنس تفلون PFA (بمب) ریخته شد و مخلوطی از ۵ میلی‌لیتر HF، ۱ میلی‌لیتر HNO_3 و ۰/۵ میلی‌لیتر اسید HCL به آن اضافه شد. نمونه‌ها به آرامی و طی یک شب در دمای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد در بمب در بسته گرم و سپس سرد شدند. این چرخه گرم و سرد شدن دست کم دوبار تکرار شد سپس، درپوش بمب‌ها برداشته شد و بخارهای HCL خارج شدند. سپس ۲ میلی‌لیتر HNO_3 برای شستن دیواره‌های بمب اضافه شد. نمونه‌ها درون بمب درباز تا دمای ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد تا شروع خشک‌شدگی گرم شدند. برای اطمینان از انحلال کامل رسوب های باقی‌مانده ۲ میلی‌لیتر HNO_3 و ۵ میلی‌لیتر آب غیریونیده ۱۸ امگا اهم به آن اضافه شد و در ظرف در بسته

[DOR: 20.1001.1.17263689.1401.30.1.13.7]
[DOI: 10.52547/ijcm.30.1.165]

دوباره تا دمای ۱۱۰ درجه سانتی‌گراد به مدت یک ساعت گرم شدند. پس از سرد نمودن نهایی، مواد درون بمب‌ها به یک فلاسک ۱۰۰ میلی‌لیتری منتقل و تا مرحله آب غیریونیده ۱۸ امگا اهمی رقیق شد. مقادیر مناسبی از این محلول برای رقیق‌سازی نهایی برداشته شد. نمونه‌ها، استانداردها و ظروف خالی با ایندیم به غلظت ۵۰ نانوگرم در میلی‌لیتر آلوده شدند تا از آن به عنوان یک استاندارد داخلی استفاده شود. برای اندازه‌گیری عناصر کمیاب با غلظت کم‌تر از یک درصد وزنی، مقداری از همان نمونه‌ها (پس از مرحله خردایش و پودر کردن) به روش‌های انحلال اسیدی حل شده (چنان که توضیح داده شد) و نمونه‌های مایع تهیه گردید. عناصر کمیاب (از جمله عناصر خاکی نادر) به روش طیف‌سنجی جرمی پلاسمای جفت شده القایی (ICP-MS) اندازه‌گیری شده و نتایج در جدول ۱ آورده شده‌اند. نمودارهای شیمیایی با نرم‌افزار GCDkit نسخه ۳٫۶، اکسل، فتوشاپ و Premiere رسم و تصحیح شدند.

جدول ۱ نتایج تجزیه شیمیایی نمونه‌های کندریتی شهداد به روش ICP-MS (بر حسب ppm).

عنصر	KM97001	KM97002	KM97003	KM97007	KM97008	KM97009	KM970010	KM970016
Ag	۰٫۷	۰٫۸	۰٫۸	۰٫۸	۰٫۷	۰٫۹	۰٫۶	۰٫۸
As	۱۰٫۷	۱۹٫۲	۱۳٫۹	۱۲٫۳	۹٫۷	۱۰٫۷	۶٫۲	۹٫۴
Ba	۲	۳	۲۵	۶۵	۷۹	۲۵	۱۹	۱<
Be	۰٫۲<	۰٫۲<	۰٫۲<	۰٫۲<	۰٫۲<	۰٫۲<	۰٫۲<	۰٫۲<
Bi	۰٫۱	۰٫۱<	۰٫۱<	۰٫۱<	۰٫۴	۰٫۱<	۰٫۲	۰٫۱<
Cd	۰٫۱<	۰٫۵	۰٫۱	۰٫۱	۰٫۳	۰٫۱	۰٫۳	۰٫۱
Ce	۱<	۱<	۱<	۱<	۱<	۱<	۱<	۱<
Co	۸۲۸	۷۹۹	۵۸۱	۳۸۵	۴۳۲	۶۲۰	۳۹۲	۷۱۷
Cr	۴۰۲۴	۳۹۰۰	۴۵۷۳	۳۷۵۳	۴۱۹۱	۴۱۷۸	۴۰۳۳	۴۱۳۷
Cs	۰٫۵<	۰٫۵<	۰٫۵<	۰٫۵<	۰٫۵<	۰٫۵<	۰٫۵<	۰٫۵<
Cu	۱۲۹	۱۶۰	۲۲۱	۲۱۳	۹۵	۱۵۴	۷۶۷	۱۲۹
Dy	۰٫۲۶	۰٫۳	۰٫۳۶	۰٫۳۱	۰٫۳۶	۰٫۲۹	۰٫۴	۰٫۲۷
Er	۰٫۰۵<	۰٫۰۵<	۰٫۰۵<	۰٫۰۵<	۰٫۰۵<	۰٫۰۵<	۰٫۰۵<	۰٫۰۵<
Eu	۰٫۱<	۰٫۱<	۰٫۱<	۰٫۱<	۰٫۱<	۰٫۱<	۰٫۱<	۰٫۱<
Gd	۰٫۰۵<	۰٫۰۵<	۰٫۰۵<	۰٫۰۵<	۰٫۰۵<	۰٫۰۵<	۰٫۰۵<	۰٫۰۵<
Hf	۰٫۵<	۰٫۵<	۰٫۵<	۰٫۵<	۰٫۵<	۰٫۵<	۰٫۵<	۰٫۵<
In	۰٫۵<	۰٫۵<	۰٫۵<	۰٫۵<	۰٫۵<	۰٫۵<	۰٫۵<	۰٫۵<
K	۱۷۲	۲۰۳	۳۳۹	۴۹۲	۵۹۵	۲۸۰	۸۳۷	۱۸۱
La	۱<	۱<	۱<	۱<	۱<	۱<	۱<	۱<
Li	۱	۱	۱	۲	۲	۱	۳	۱
Lu	۰٫۱<	۰٫۱<	۰٫۱<	۰٫۱<	۰٫۱<	۰٫۱<	۰٫۱<	۰٫۱<
Mn	۲۰۵۲	۲۱۴۷	۲۳۷۰	۲۲۵۷	۲۳۰۲	۲۲۴۶	۲۳۰۹	۲۲۲۶
Mo	۰٫۱<	۰٫۱<	۰٫۱<	۰٫۱<	۰٫۱<	۰٫۱<	۰٫۱<	۰٫۱<
Na	۵۴۹۸	۵۹۳۱	۶۲۱۴	۷۲۳۸	۸۴۷۱	۶۴۵۶	۵۷۷۷	۵۸۵۶
Nb	۱<	۱<	۱<	۱<	۱<	۱<	۱<	۱<
Nd	۰٫۵<	۰٫۵<	۰٫۵<	۰٫۵<	۰٫۵<	۰٫۵<	۰٫۵<	۰٫۵<
Ni	۱۶۵۵۲	۱۶۵۳۵	۱۲۳۵۷	۸۱۷۵	۹۶۱۴	۱۳۱۵۲	۷۷۷۸	۱۵۵۴۲
P	۸۵۷	۹۶۱	۱۱۱۵	۷۸۳	۸۲۶	۸۹۱	۷۶۶	۹۲۵
Pb	۱۹	۲۲	۲۰	۲۷	۱۵	۱۹	۴۱	۲۲
Pr	۰٫۰۵<	۰٫۰۵<	۰٫۰۵<	۰٫۰۵<	۰٫۰۵<	۰٫۰۵<	۰٫۰۵<	۰٫۰۵<
Rb	۱<	۱<	۱<	۱<	۱<	۱<	۱<	۱<
S	۱۶۵۱۶	۱۶۸۷۴	۱۳۱۶۵	۱۸۸۵۴	۱۹۸۷۰	۱۸۶۵۳	۲۱۲۱۴	۱۶۲۰۴
Sb	۰٫۵<	۰٫۵<	۰٫۵<	۰٫۵<	۰٫۵<	۰٫۵<	۰٫۵<	۰٫۵<
Sc	۶٫۹	۷٫۴	۷٫۷	۷٫۵	۷٫۶	۷٫۷	۷٫۹	۷٫۹
Se	۷٫۱۷	۱۴٫۳۴	۷٫۷۲	۱۴٫۶۶	۱۲٫۱۴	۱۱٫۴۸	۲۲٫۱۹	۱۵٫۵۱
Sm	۰٫۰۲<	۰٫۰۲<	۰٫۰۲<	۰٫۰۲<	۰٫۰۲<	۰٫۰۲<	۰٫۰۲<	۰٫۰۲<
Sn	۰٫۵	۰٫۱<	۲	۱٫۸	۰٫۱<	۰٫۱<	۹٫۸	۰٫۱<
Sr	۸٫۱	۹٫۳	۴۱٫۴	۴۱۰	۱۹۵	۹۹	۷۱٫۹	۸٫۹
Ta	۰٫۲	۰٫۲	۰٫۲۸	۰٫۲۸	۰٫۲۳	۰٫۲۱	۰٫۲۵	۰٫۲
Tb	۰٫۱<	۰٫۱<	۰٫۱<	۰٫۱<	۰٫۱<	۰٫۱<	۰٫۱<	۰٫۱<
Te	۰٫۲۸	۰٫۱۸	۰٫۲۱	۰٫۲۶	۰٫۱۸	۰٫۱۶	۰٫۲۹	۰٫۱۶
Th	۰٫۱<	۰٫۱<	۰٫۱<	۰٫۱<	۰٫۱<	۰٫۱<	۰٫۱<	۰٫۱<
Ti	۳۸۵	۴۰۷	۴۸۴	۴۴۳	۴۵۸	۴۴۰	۵۱۴	۴۱۹
Tm	۰٫۱<	۰٫۱<	۰٫۱<	۰٫۱<	۰٫۱<	۰٫۱<	۰٫۱<	۰٫۱<
U	۰٫۱<	۰٫۱<	۰٫۱	۰٫۱	۰٫۱	۰٫۱	۰٫۱	۰
V	۶۴	۶۷	۷۴	۶۸	۶۹	۶۸	۶۹	۶۷
W	۱<	۱<	۱<	۱<	۱<	۱<	۱<	۱<
Y	۱٫۴	۱٫۵	۱٫۹	۱٫۷	۱٫۸	۱٫۷	۲٫۳	۱٫۶
Yb	۱٫۲	۱٫۲	۱	۰٫۹	۰٫۹	۱٫۱	۰٫۹	۱٫۲
Zn	۳۶	۸۱	۸۰	۷۵	۲۸	۴۳	۲۶۰	۳۱

[DOR: 20.1001.1.17263689.1401.30.1.13.7]
[DOI: 10.52547/ijcm.30.1.165]

شیمی سنگ کل شهاب‌سنگ‌ها به روش XRF

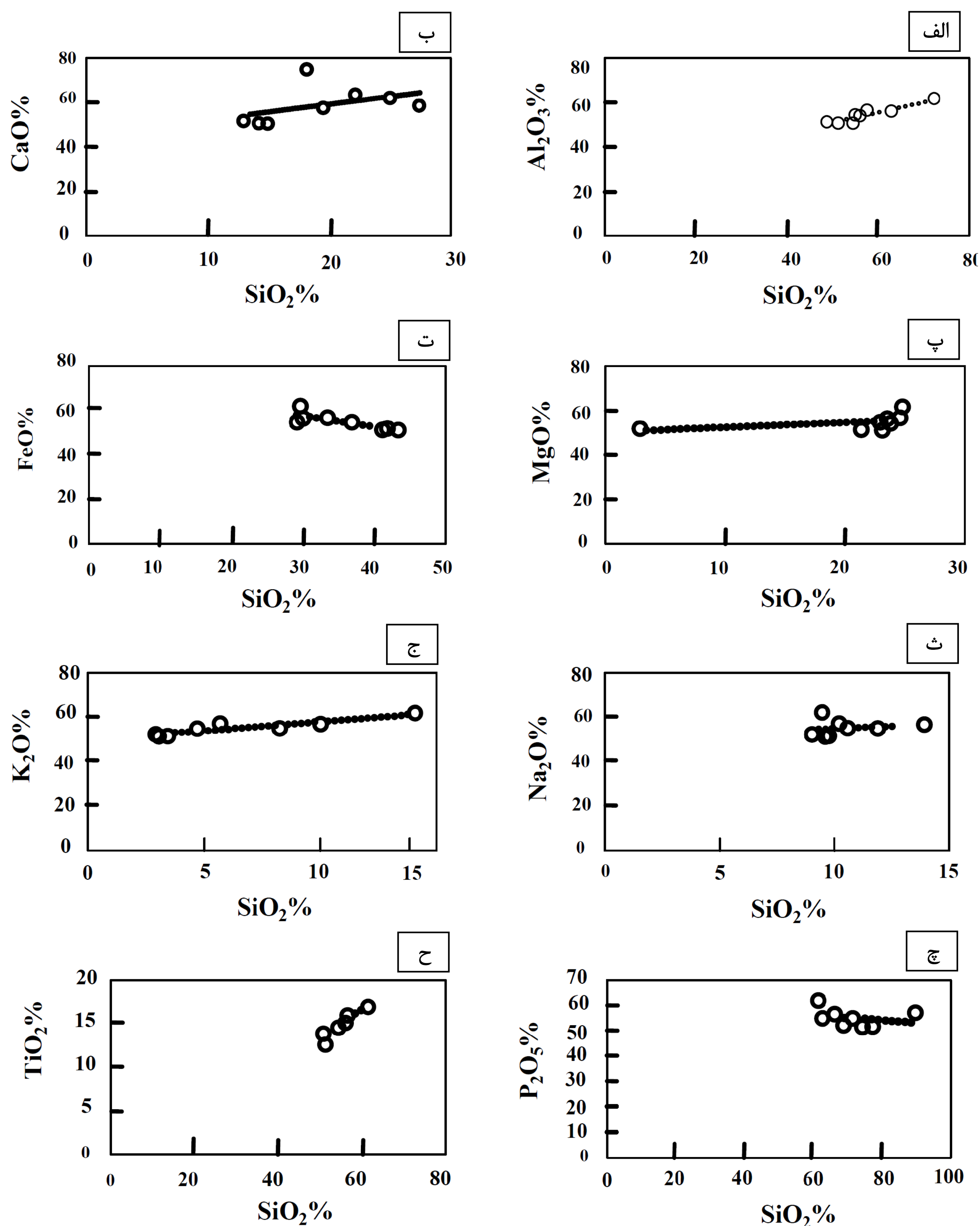
در آماده سازی نمونه‌ها برای اندازه‌گیری اکسید عناصر اصلی، قرص‌های شیشه‌ای از نمونه ذوب شده، تهیه شدند. برای این کار، ۵ بخش از یک کمک ذوب آماده به نام Spectroflux105 و یک بخش از پودر نمونه سنگ در بوته پلاتینی (۹۵٪ Pt و ۵٪ Au) در دمای حدود ۱۲۰۰-۹۵۰ درجه سانتی‌گراد برای ۱۰ تا ۱۵ دقیقه گداخته شدند تا یک مذاب همگن بدست آید. سپس مذاب‌ها در قالب‌های از پیش گرم شده، ریخته و در یک ظرف در بسته خشک (دارای رطوبت‌گیر) به آرامی تا دمای اتاق سرد شدند تا قرص‌های شیشه‌ای ضخیم به دست آمدند. نمونه‌هایی که به صورت دستی خرد و پودر شد با طیف سنج فلئورسانس پرتوی ایکس (XRF) مدل Rigaku3070 تجزیه شدند در هر نمونه از منحنی‌های واسنجی استاندارد براساس استانداردهای سازمان زمین‌شناسی آمریکا (USGS) استفاده شد. چکیده نتایج تجزیه‌شیمیایی عناصر اصلی در جدول ۲ آورده شده‌اند. با توجه به مقادیر مواد فرار (LOI) می‌توان گفت که نمونه‌ها دارای هوازدگی ناچیزی هستند.

نمودارهای هارکر

نمودارهای هارکر یا نمودارهای اکسیدی یا اکسید-اکسید در بررسی سنگ‌شناسی مجموعه‌های شهاب‌سنگی که روندهای تغییرات ماگمایی چون تفریق و آلایش را طی کرده باشند مفید هستند. البته، این نمودارها برای نمونه‌های شهاب‌سنگی به دلیل نبود تفریق ماگمایی به کاربرده نمی‌شود، ولی برای بررسی پیوستگی قطعه‌های شهاب‌سنگی در یک منطقه استفاده شدند با این نمودارها، پیوستگی و یا ارتباط نداشتن واحدهای شهاب‌سنگی قابل تحلیل و بررسی است. در این پژوهش، براساس نمودارهای هارکر رسم شده، هیچ جداشدگی بین نمونه‌ها، بجز K_2O وجود ندارد که بیان‌گر مشترک بودن بدنه سیارک مادر شهاب‌سنگ‌های شهداد است. بر پایه نمودارها روند تبلور بیشتر عناصر با همبستگی مثبت نسبت به SiO_2 همراه بوده و تنها همبستگی FeO و P_2O_5 با همبستگی منفی همراه است که در ادامه بررسی می‌شود (شکل ۱۰). برای Al_2O_3، MgO، K_2O، Na_2O، TiO_2و CaO، نمودار اکسید آلومینیوم از قلیایی‌ها به سمت اسیدی‌ها روند مثبت را نشان می‌دهد، زیرا شهاب‌سنگ‌های مورد بررسی از نوع کندریت دارای سیلیکاتی‌های الیوین و پیروکسن هستند که در شبکه بلوری آنها عناصر یاد شده وجود ندارند (شکل ۱۰ الف).

جدول ۲ نتایج تجزیه‌شیمیایی به روش XRF نمونه‌های شهاب‌سنگی شهداد (بر حسب درصد)

اکسید/	KM97001	KM97002	KM97003	KM97007	KM97008	KM97009	KM970010	KM970016
SiO_2	۳۶۸۱	۳۸۶۲	۳۹٫۳۱	۳۷٫۷۵	۳۸٫۰۲	۳۷٫۳۸	۳۹٫۷۱	۳۸٫۸۵
TiO_2	۱٫۹۵	۱٫۲۹	۱٫۴۸	۱٫۲۱	۱٫۲۶	۱٫۸	۱٫۵۸	۱٫۹۳
Al_2O_3	۲٫۰۵	۲٫۱۳	۲٫۲۶	۲٫۱۷	۲٫۴۵	۲٫۱۶	۲٫۷۸	۲٫۱۷
FeO	۲۷٫۸۴	۲۵٫۲۹	۲۱٫۶۵	۲۱٫۸۵	۱۸٫۸۴	۲۳٫۶۵	۱۸٫۴۵	۲۲٫۳
MgO	۲۴٫۲۱	۲۵٫۴۹	۲۵٫۱۴	۲۳٫۸۸	۲۳٫۵۷	۲۴٫۲۲	۲۳٫۴۸	۲۵٫۱۵
MnO	۰٫۳۵	۰٫۳۶	۰٫۳۶	۰٫۳۵	۰٫۳۵	۰٫۳۴	۰٫۳۶	۰٫۳۷
CaO	۱٫۶۶	۱٫۷۱	۲٫۰۹	۲٫۲۴	۲٫۳۲	۲٫۰۸	۱٫۸۸	۱٫۸۹
K_2O	۰٫۱	۰٫۱	۰٫۱۲	۰٫۱۲	۰٫۱۵	۰٫۱۱	۰٫۱۹	۰٫۱۱
Na_2O	۰٫۸۵	۰٫۸۸	۰٫۹۱	۱٫۰۱	۱٫۲۵	۰٫۹۵	۰٫۸۳	۰٫۸۹
BaO	<	<	<	<	<	<	<	<
P_2O_5	۰٫۰۹	۰٫۱	۰٫۱۲	۰٫۰۹	۰٫۰۹	۰٫۰۹	۰٫۰۸	۰٫۰۹
Cr_2O_3	۰٫۵۸	۰٫۶	۰٫۶۴	۰٫۵۸	۰٫۵۵	۰٫۵۸	۰٫۵۵	۰٫۶
Ni	۱٫۲۵	۱٫۰۶	۰٫۹۷	۰٫۹۴	۱٫۰۴	۰٫۹۹	۰٫۸۹	۰٫۸۴
LOI	۰٫۹	۰٫۳۸	۰٫۰۵	۰٫۴۹	۳٫۱۵	۰٫۸۶	۲٫۴۴	۰٫۰۲
مجموع	۹۹٫۸۶	۹۹٫۹۱	۹۶٫۴۸	۹۴٫۴۴	۹۴٫۸۹	۹۷٫۱۱	۹۴٫۷۸	۹۶٫۵۵



شکل ۱۰ نمودارهای تغییرات اکسیدهای عناصر اصلی نسبت به سیلیس (نمودارهای هارکر): الف) نمودار تغییرات اکسید آلومینیوم در مقابل سیلیس، ب) نمودار تغییرات اکسید کلسیم نسبت به سیلیس پ) نمودار تغییرات اکسید منیزیم نسبت به سیلیس، ت) نمودار تغییرات اکسید آهن نسبت به سیلیس، ث) نمودار تغییرات اکسید سدیم نسبت به سیلیس. ج) نمودار تغییرات اکسید پتاسیم نسبت به‌سیلیس، چ) نمودار تغییرات اکسید فسفر نسبت به سیلیس و ح) نمودار تغییرات اکسید تیتانیم نسبت به سیلیس.

MgO، CaO، K_2O، Na_2O، TiO_2 دارای روند مثبت هستند (شکل‌های ۱۰ الف- ب- پ- ث- ج- ح). در نمودار هارکر FeO، به دلیل وجود مقدار قابل توجه فازهای آهن‌دار شهاب‌سنگ کندریتی (کندریت معمولی H از ۲۵ تا ۳۱٪ آلیاژهای آهن خالص تشکیل شده است که به صورت کانی‌های تائنیت، ۶۰٪ Fe و۴۰٪ Ni، و کاماسیت، ۹۵٪ Fe و ۵٪ Ni، متبلور می‌شود)، در بخش قلیایی نمودار، مقدار آهن زیاد بوده و در بخش غنی‌تر از سیلیس، مقدار اکسید آهن کم می‌شود و همبستگی منفی نمودار با شیب تندی نسبت به اکسیدهای دیگر همراه است (شکل ۱۰ ت). مقدار P_2O_5 در شهاب‌سنگ کندریتی شهداد توسط کانی‌های تتراتائنیت که دارای فازهایی از آپاتیت و کلرآپاتیت است، کنترل می شود. کاهش این اکسید نشان می‌دهد که در همان مراحل اولیه تکامل، این اکسید در اثر تفریق آپاتیت از ماگما خارج شده و منجربه همبستگی منفی این اکسید گردیده است (شکل ۱۰ چ).

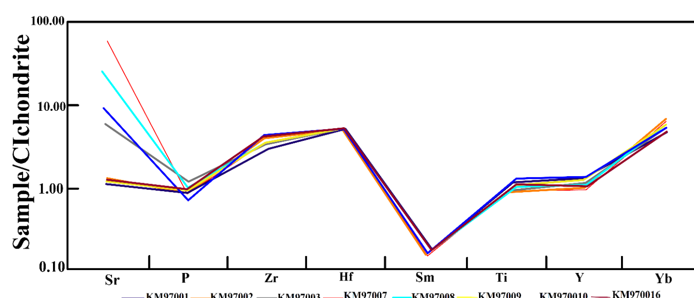
تغییرات عناصر اصلی و کمیاب شهاب‌سنگ‌های کندریتی شهداد

عناصر کمیاب در ۸ نمونه شهاب‌سنگ‌های شهداد به روش ICPMS تجزیه شیمیایی شدند که فراوانی آنها در جدول ۱ آمده است. نتایج تقریباً شبیه داده‌های گزارش شده برای شهاب‌سنگ‌های کندریتی H_4 کازیک مکزیک است [۱۹]. بیش‌ترین و کم‌ترین تهی‌شدگی در نمودار الگوی رفتاری عناصر کمیاب به ترتیب مربوط به Sm و P است (کانی‌های دربردارنده عناصری چون فسفر و یا گوگرد به شدت دستخوش هوازدگی جو منظومه شمسی می شوند) (شکل ۱۱) [۲۱،۲۰]. Sr و Yb دارای بیش‌ترین غنی‌شدگی در این نمودار هستند. عنصر Sr در شهاب‌سنگ‌های KM97003, KM97007, KM97008, KM970010 دارای غنی‌شدگی کم‌تری نسبت به نمونه‌های دیگر شهاب‌سنگ‌ها بوده که اغلب این تفاوت مربوط به ویژگی-های سیارک مادر است. این در حالی است کهYb در همه نمونه‌های شهاب‌سنگی غنی‌شدگی بالایی دارد. عناصر دیگری چون Zr و Hf که دارای شعاع و بار الکتریکی تقریباً یکسانی هستند غنی‌شدگی یکسانی در این نمودار از خود نشان می‌دهند. این امر بیانگر نبود تفریق اولیه در نمونه‌هاست (شکل ۱۱). عناصر Ti و Y به دلیل حضور در فازهای کانیایی فلزی شهاب‌سنگ‌ها غنی‌شدگی دارند. عناصر سنگ دوست Yb، Y، Ti، Zr، Hf و Sr همه کمابیش غنی‌شدگی نشان می‌دهند. عنصر Yb (از عناصرخاکی نادر سنگین، HREE) در نمودار عنکبوتی دارای غنی‌شدگی بالایی است (شکل ۱۱). Hf به عنوان عنصری با شدت میدان بالا (*HFSE*) و با دارا بودن ویژگی‌های چون ناسازگاری بسیار کم و بی تحرکی در نمودار تهی‌شدگی ندارد (شکل ۱۱). Sr عنصر سنگ دوست بزرگ یون (*LILE*) با ناسازگاری بالا و متحرک بوده و غنی‌شدگی آن در نمودار عنکبوتی آشکار است. با توجه به این شواهد، می‌توان گفت که روند عناصر گویای اولیه بودن شهاب‌سنگ‌های شهداد است. با توجه به شیب تند نمودار در بخش غنی‌شدگی و تهی‌شدگی عناصر، می‌توان گفت که ترکیب اولیه شهاب‌سنگ روند سردشدگی آهسته‌ای، بدون تفریق زیاد را تجربه کرده است [۶]. نمودار همه نمونه‌های شهاب‌سنگ کندریتی شهداد شبیه به هم بوده که این گویای هم خاستگاه بودن آن‌هاست. همچنین فراوانی غالب عناصر نزدیک به ۱ است و به بیان دیگر، ترکیب شهاب‌سنگ شهداد اولیه بوده و بدنه سیارک مادر همه نمونه‌های شهاب‌سنگ کندریتی شهداد یکی است (شکل ۱۱).

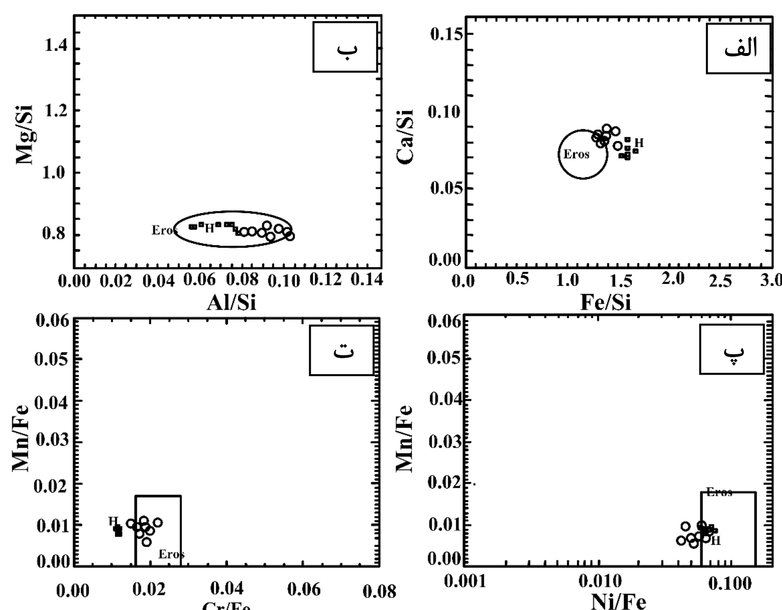
خاستگاه شهاب‌سنگ‌های شهداد

شهاب‌سنگ‌های اولیه بهترین ابزار برای برآورد ترکیب سحابی خورشیدی هستند، زیرا آنها به عنوان سنگ مادر دارای عناصر تشکیل دهنده این دسته از شهاب‌سنگ‌ها هستند. برای درک شرایط تشکیل شهاب‌سنگ‌ها، ارتباط با مناطقی که منبع اصلی در کمربند سیارک‌ها هستند، مهم است، زیرا بدنه مادر آن‌ها در آنجا تشکیل شده است [۲۲]. کندریت‌های معمولی در مجموع فراوان‌ترین طبقه شهاب‌سنگ‌های روی زمین هستند؛ از این رو، بررسی بدنه سیارک مادر این دسته از شهاب‌سنگ‌ها بسیار مهم است. برخی از سیارک‌ها (خانواده‌های نوع S) به عنوان منابعی برای سه نوع مختلف کندریت‌های معمولی (H, L, LL) پیشنهاد شده‌اند [۲۵،۲۴]. با این حال، با توجه به شکل ۱۲ تمایل شهاب‌سنگ‌های بررسی شده از نوع کندریت معمولی، مربوط به سیارک بزرگ کمربند اصلی سیارک‌ها، مربوط به سیارک نوع S با نام إروس است. براساس این شکل، شهاب‌سنگ‌های کندریتی نوع H_4 شهداد وابسته به بدنه سیارک إروس هستند [۲۳،۲۱].

[DOR: 20.1001.1.17263689.1401.30.1.13.7]
[DOI: 10.52547/ijcm.30.1.165]



شکل ۱۱ نمودار عنکبوتی عناصر برآمده از تجزیه شیمیایی کندریت‌های شهداد بهنجار شده با مقادیر کندریت CI .



شکل ۱۲ نمودارهای درصد وزنی الف) Ca/Si نسبت به Fe/Si، ب) Mg/Si نسبت به Al/Si، پ) Mn/Fe نسبت به Ni/Fe و ت) Mn/Fe نسبت به Cr/Fe. فراوانی این عناصر از سطح سیارک إروس با کندریت‌های معمولی مقایسه شد و داده های کندریت‌های شهداد در تصویر با دایره نمایش داده شده‌اند.

برداشت

۹ قطعه شهاب‌سنگ با جرم کل ۳۵۹۰ گرم شدند و در آن‌ها شواهدی از کندرول و همچنین کندرول مرکب دیده شد که دارای کانی‌های الیوین و پیروکسن به صورت در برگرفته شده و با مرزی کاملاً مشخص تا نیمه‌مشخص هستند. با بررسی‌های اولیه، این شهاب‌سنگ‌ها از کندریت‌های نوع H با سنگ شناسی ۴ کندریت‌های شهداد رده‌بندی شدند. نبود اکسایش بالای فلز یا سولفید و وجود طیفی از رنگ لیمویی که بیان‌گر درجه W_2 از هوازدگی است، بر اساس رده‌بندی ولتزکا، مربوط به کندریت‌های معمولی است. رده‌بندی قطعی این نمونه‌ها با تجزیه ترکیب شیمیایی کانی‌های مختلف حاضر در این شهاب‌سنگ‌ها و درج آن‌ها در خبرنامه جهانی ثبت شهاب‌سنگ‌ها تکمیل می‌شود. با توجه به آزمایش‌های ICP-MS و XRF انجام شده، و روند نمودار عنکبوتی عناصر، نرخ خنک‌شدگی شهاب‌سنگ‌ها آهسته بوده است [۲۶]. براساس نمودارهای هارکر که نشان دهنده روند تبلور کانی‌هاست، طی تبلور کانی‌های الیوین و پیروکسن، همبستگی اکسیدهایی چون FeO و P_2O_5 منفی بوده است.

قدردانی

از راهنمایی‌های ارزنده و علمی دکتر پورخرسندی از آزمایشگاه جی- تایم دانشگاه بروکسل که در این پژوهش نقش اساسی و ویژه‌ای داشته اند کمال تشکّر را داریم.

مراجع

[1] Rubin A. E., Kallemeyn G. W., *"Pecora Escarpment 91002: A member of the Rumuruti (R) chondrite group"*, Meteoritics (1994) 29, 255–264.
[2] Weisberg M. K., McCoy T. J., Krot A. N. *"Systematics and evaluation of meteorite classification"*. In: Lauretta, D.S. Jr., McSween, H.Y. (Eds.), Meteorites and the Early Solar System II, University of Arizona Press, Tucson, (2006) 943 pp., p.19-52.

[3] Bischoff A. *"Meteorite classification and the definition of new chondrite classes as a result of successful meteorite searchin hot and cold deserts"*. Planetary and Space Science (201) 49, 769–776.

[4] Van Schmus W. R., Wood J. A., *"A chemical-petrologic classification for the chondritic meteorites",* Geochimica et Cosmochimica Acta (1967) 31(5), 747–765.

[5] Sears D. W. G., Dodd R. T., *"Overview and classification of meteorites. In Meteorites and Early Solar System (eds. J. F. Kerridge and M. S. Matthews)",* University of Arizona Press, Tucson, (1988) 3–31.

[6] Brearley A. J., Jones R. H., *"Chondritic meteorites. In Planetary Materials, Reviews in Mineralogy (ed. J. J. Papike)",* Mineralogical Society of America, Washington, DC, vol. 36, chap. 3, pp (1998) 3-1–3-398.

[7] Kallemeyn G. W., Wasson J. T., *"The compositional classification of chondrites: I. The carbonaceous chondrite groups",* Geochimica et Cosmochimica Acta 45 (1981) 1217–1230.

[8] Kallemeyn G. W., Wasson J. T., *"The compositional classification of chondrites: III. Ungrouped carbonaceous chondrites"*, Geochimica et Cosmochimica Acta 46 (1982) 2217–2228.

[9] Kallemeyn G. W., Boynton W. V., Willis J., Wasson J. T., *"Formation of the Bencubbin polymict meteoritic breccia",* Geochimica et Cosmochimica Acta 42 (1978) 507–515.

[10] Kallemeyn G. W., Rubin A. E., Wang D., Wasson J. T., *"Ordinary chondrites: bulk compositions, classification, lithophile-element fractionations, and compositionpetrographic type relationships",* Geochimica et Cosmochimica Acta 53 (1989) 2747–2767.

[11] Kallemeyn G. W., Rubin A. E., Wasson J. T., *"The compositional classification of chondrites: V. The Karoonda (CK) group of carbonaceous chondrites"*, Geochimica et Cosmochimica Acta 55 (1991) 881–892.

[12] Kallemeyn G. W., Rubin A. E., Wasson J. T., *"The compositional classification of chondrites: VI. The CR carbonaceous chondrite group",* Geochimica et Cosmochimica Acta 58 (1994) 2873–2888.

[13] Kallemeyn G. W., *"The classificational wanderings of the Ningqiang chondrite. In Lunar Planet. Sci. XXVII",* The Lunar and Planetary Institute, Houston, (1996) 635–636.

[14] Wlotzka F., *"A weathering scale for the ordinary chondrites",* Meteoritics 28 (1993) 460.

[15] Stoffler D., Keil K., Scott E. R. D., "*Shock metamorphism in ordinary chondrites*. Geochimica et Cosmochimica Acta 55 (1991) 3845–3867.

[16] Rubin A. E., Scott E. R. D., *"Abee and related EH chondrite impact-melt breccias",* Geochimica et Cosmochimica Acta 61 (1997) 425–435.

[17] Gattacceca J., Boovier A., Grossman J., Metzler K., Uehara M., *"Meteoritics",* The Meteoritical Bulletin (2018)
25: 59– 63.

[18] Keil K., *"Composition and origin of chondritic breccias. In Workshop on Lunar Breccias and Soils and their Meteoritic Analogs",* LPI Technical Report 82-02 (eds. G. J. Taylor and L. L. Wilkening). The Lunar and Planetary Institute, Houston (1982) pp. 65–83.

[19] Ozdin D., Plavcan J., Horn A., Uher P., Porub V., Rakovsk J., *"Mineralogy, petrography, geochemistry, and classification of the Kosice meteorite",* Meteoritics & Planetary Science 50, Nr 5 (2015) 864–879.

[20] Russell S., Grady M., *"Meteorites, Meteoritics and Planetary Science",* (2002) 37: 157- 184.

[21] Foley C. N., Nittler L. R., McCoyb T. J., Limc L. F., Brown R. M., Starr R. D., Trombka J. I., *"Minor element evidence that Asteroid 433 Eros is a space-weathered ordinary chondrite parent body",* (2006) 338–343.

[22] Noonan A. F., Olsen E., Bunch T. E., Jarosewich E., Huss G. I., *"Happy Canyon: A new type of enstatite chondrite",* Meteoritics 12 (2019) 109–123.

[23] Nittler L.R., McCoy T.J., Clark P.E., Murphy M.E., Trombka J.I.,Jarosewich E., *"Bulk element compositions of meteorites: A guidefor interpreting remote-sensing geochemical measurements of planets and asteroids",* Antarct. Meteorite Res (2004) 17, 233–253.

[24] Gattacceca J., Valenzuela M., Uehara M., Jull A. J. T., Giscards M., Rochette P., Braucher R., Suavet C., Gounelle M., Morata D., Munayco P., Bourot-Denis N., Bourles D., Demory F., *"The densest meteorite collection area in hot deserts: The San Juan meteorite field (Atacama Desert, Chile)",* Meteoritics and Planet. Sci (2011) 46, 1276- 1287.

[25] Weisberg M. K., *"Sahara 00182, the first CR3 chondrite and formation of multi-layered chondrules",* Meteorit. Planet. Sci. 36 (2015) A222–A223.

[26] Terada K., Sano Y., Takahata N. *"Thermal and impact histories of 25143 Itokawa recorded in Hayabusa particles scientificreports"*. (2018) 8:11806.

[DOR: 20.1001.1.17263689.1401.30.1.13.7]

[DOI: 10.52547/ijcm.30.1.165]